



Amélioration du confort thermique par intégration de Matériau à Changement de Phase (MCP) dans les planchers/plafonds de bâtiment à structure légère

Laurie Karim, André Bontemps, Arnaud Grados, Laurent Royon

► To cite this version:

Laurie Karim, André Bontemps, Arnaud Grados, Laurent Royon. Amélioration du confort thermique par intégration de Matériau à Changement de Phase (MCP) dans les planchers/plafonds de bâtiment à structure légère. Amélioration du confort thermique par intégration de Matériau à Changement de Phase (MCP) dans les planchers/plafonds de bâtiment à structure légère, Nov 2013, Marrackech, Maroc. pp.1-5. hal-00940341

HAL Id: hal-00940341

<https://hal.science/hal-00940341>

Submitted on 31 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Amélioration du confort thermique par intégration de Matériau à Changement de Phase (MCP) dans les planchers/plafonds de bâtiment à structure légère

Laurie KARIM¹, André BONTEMPS³, Arnaud GRADOS¹, Laurent ROYON^{1,2}

¹ Université Paris-Denis Diderot, Laboratoire MSC, 10 rue Alice Domon et Léonie Duquet CC 7056, Paris cedex 13, France.

² IUT Marne la Vallée, dpt GTE, Pres Paris Est, 2 rue A. Einstein, Champs sur Marne, 77420, France.

³ Université Joseph Fourier, Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels (LEGI), BP 53, Grenoble
Courriels : Laurie Karim : laurie.karim@univ-paris-diderot.fr

Laurent Royon : laurent.royon@univ-paris-diderot.fr

André Bontemps : abontemps2010@hotmail.fr

Résumé : Pour limiter les besoins en climatisation nous proposons d'augmenter l'inertie des bâtiments en introduisant une paraffine stabilisée par une matrice polymère (MCP) dans les cavités d'une dalle alvéolée pouvant être utilisée comme plancher/plafond. Le comportement thermique de deux dalles avec ou sans MCP est étudié pour une condition de température périodique imposée sur l'une des faces. Les résultats montrent que i) l'amplitude des oscillations en température de la face opposée est diminuée et ii) le déphasage entre les deux faces est plus important si la dalle contient un MCP, démontrant ainsi la capacité de ce composant à augmenter l'inertie de la paroi. Une simulation numérique, validée par les résultats expérimentaux, offre la possibilité d'optimiser la quantité et la répartition du MCP lors d'un scénario de climat donné. Des résultats pour différentes répartitions du MCP sont présentés et discutés.

Mots clés : matériau à changement de phase, chaleur latente, stockage d'énergie thermique, bâtiment

1. Introduction

Limiter les besoins en climatisation dans les bâtiments à structure légère est devenu un véritable enjeu dans le contexte actuel du réchauffement climatique. Un des moyens proposé ici pour y remédier est l'incorporation de Matériaux à Changement de Phase (MCP) dans la structure de paroi du bâtiment, permettant ainsi d'accroître son inertie thermique. L'utilisation de ce système passif pour la climatisation ou le chauffage des bâtiments a donné lieu à de nombreux travaux de recherche durant les dernières décennies et on peut trouver les principaux résultats dans plusieurs articles de revue [1-3].

L'incorporation de MCP dans les composants de construction a déjà été réalisée par différents moyens, soit :

- par incorporation directe ou par imprégnation du matériau de construction,
- par incorporation de capsules remplies de MCP dans les éléments de construction,
- par une fabrication de panneaux contenant des MCP pour remplacer les murs ou les cloisons classiques,
- par incorporation dans un échangeur pour améliorer les performances d'un système de climatisation.

Une des principales difficultés rencontrée est le conditionnement du matériau. En effet, l'étanchéité soit du composant soit du système de stockage du matériau doit être totale, en particulier lorsque le matériau est à l'état liquide.

Parmi les composants d'un bâtiment, celui qui a été le plus étudié est certainement le mur constituant la partie la plus importante de l'enveloppe. En particulier, de nombreuses études ont concerné la réalisation d'une enveloppe légère puisque l'utilisation de MCP pourrait permettre d'en diminuer le volume. Par contre, l'incorporation de MCP dans les dalles (plancher ou plafond) a été relativement peu étudiée [4-8]. Ce type de paroi permet, pendant la journée, de stocker une partie de la chaleur du rayonnement solaire à travers le processus de fusion (voir Fig. 1a) et ainsi d'améliorer le confort thermique dans la salle sans la nécessité d'utiliser la climatisation. La nuit, le MCP se solidifie et libère la chaleur emmagasinée (Fig. 1b). La présente étude se concentre sur la

dynamique du transfert de chaleur thermique d'un panneau de plancher soumis à une sollicitation thermique périodique. Les résultats sont comparés à ceux obtenus pour panneau de plancher de référence pour évaluer l'effet du MCP. L'analyse des données démontre la pertinence de la nouvelle composante de garantir une meilleure inertie thermique. Une simulation numérique développée sous Comsol Multiphysics permet de proposer, pour une quantité de MCP donnée, la configuration optimale en termes de stockage d'énergie et de déphasage.

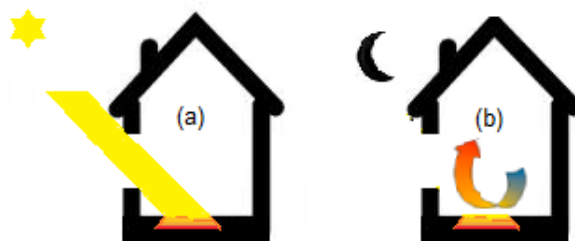


Figure 1 : Illustration de l'utilisation de l'inertie thermique de plancher avec MCP pendant la journée (a) et pendant la nuit (b)

2. Présentation de la paroi d'étude

La dalle alvéolée en mortier, présentée Fig.2, sera considérée comme la paroi de référence dans le cadre de cette étude. Sa surface est de $28 \times 28 \text{ cm}^2$ et son épaisseur de 3,75cm correspondant à une dalle réelle mise à l'échelle 1/5ème. Elle comporte 8 alvéoles de 25 mm de diamètre remplies d'air, portant ainsi le taux de vide à 57,8%. La paroi d'étude est une dalle alvéolée dans laquelle on introduit un matériau à changement de phase à l'intérieur des alvéoles. Ce MCP se présente sous la forme d'un gel de paraffine de point de fusion voisin de 27°C et de chaleur latente voisine de 110 kJ/kg [9]. Les caractéristiques thermophysiques de ce matériau ainsi que celle du mortier, évaluées au laboratoire, sont présentées Tableau 1.



Figure 2. Photographies et schéma des dalles alvéolées

Tableau 1 : Caractéristiques du MCP et du mortier utilisé

	Masse volumique	Conductivité thermique	Capacité thermique massique
	kg.m^{-3}	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
MCP $T < 27^\circ\text{C}$	850	0,28	2800
MCP $T > 27^\circ\text{C}$	780	0,18	2500
Mortier	2 127	1,0	918

3 Présentation de l'étude

3. 1 Matériels et Méthodes

Afin de caractériser le comportement thermique de la dalle et de connaître l'influence du MCP sur la dynamique des transferts, on se propose d'étudier la réponse de la paroi soumise à une sollicitation thermique composée de 7

cycles montée-descente en température entre 22°C et 35°C sur la face inférieure T_{inf} . Chaque cycle a une durée de $24/5^2 = 0,96$ heures permettant ainsi de prendre en compte le facteur d'échelle. La dalle est initialement à la température de 20°C. L'autre face de la dalle est en contact avec l'air ambiant de la salle de laboratoire réglée à 20°C.

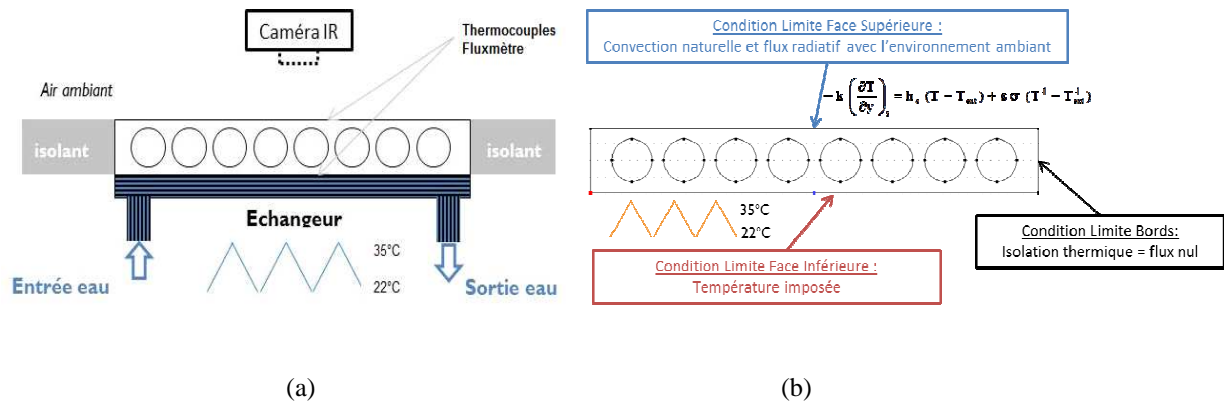


Figure 3 : Représentation schématique : (a) du dispositif expérimental ; (b) des conditions limites prises en compte dans la simulation numérique

Sur le plan expérimental, chaque face est équipée d'un fluxmètre et d'une sonde de température (thermocouples type T). Une caméra infra-rouge Flir est également utilisée pour contrôler l'homogénéité en température de la face de la dalle en contact avec l'air du laboratoire. Pour la modélisation développée au moyen du logiciel Comsol Multiphysics, des conditions de flux nuls sont prises au niveau des faces latérales de la dalle. Sur la face supérieure, on considère une condition de flux à la fois convectif et radiatif. Un maillage de 4000 éléments triangulaires est pris en compte.

3. 2 Résultats et confrontation expérience/simulation

La figure 4 présente les variations de température enregistrées sur les faces des dalles. On peut observer que la température T_{sup} de la dalle de référence atteint dès le deuxième cycle un régime oscillant stabilisé alors que ce régime n'est atteint qu'au bout du 4^{ème} cycle pour la dalle avec MCP. De plus, l'amplitude des oscillations en température (présentée Tableau 2) est nettement plus faible en présence du MCP ; ces résultats montrent que le MCP d'une part participe à retarder les effets de montée en température lors de la vague de chaleur et d'autre part permet d'amortir fortement les oscillations en température à la surface de la dalle. Le confort thermique s'en trouve donc amélioré.

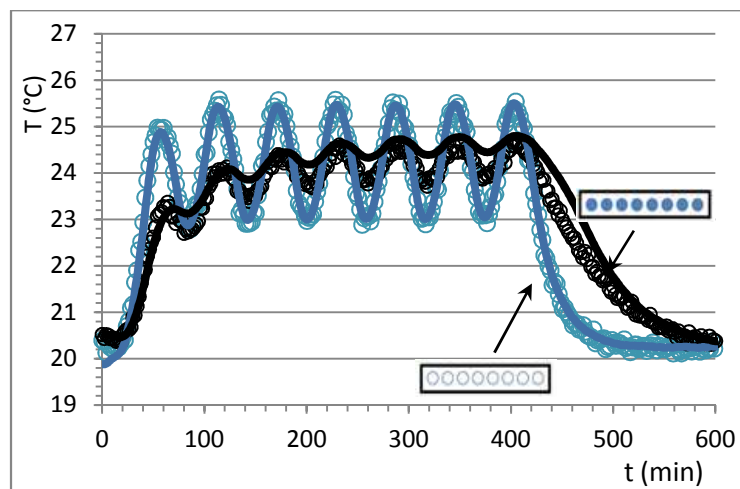


Figure 4 : Evolution de la température sur la face supérieure de la dalle
 ● données expérimentales et — simulation numérique

Les résultats issus de la simulation sont présentés sur la Figure 4. On peut observer un très bon accord avec les données expérimentales pour la dalle de référence. Pour la dalle avec MCP, un léger écart est observé que l'on peut attribuer au fait que l'on considère uniquement la capacité thermique massique effective mesurée $C_p(T)$ du MCP lors du processus de fusion. En effet, lors de la solidification la courbe est légèrement différente. Cet effet ne sera pas discuté ici.

Tableau 2 : Températures de surface T_{sup}

	Dalle de référence	Dalle avec MCP
T_{max} (°C)	$25,4 \pm 0,1$	$24,4 \pm 0,1$
T_{min} (°C)	$22,9 \pm 0,1$	$23,7 \pm 0,1$
ΔT (°C)	$2,6 \pm 0,1$	$0,6 \pm 0,1$

4. Modélisation et simulation numérique : résultats et discussion

On considère maintenant la dalle à l'échelle 1 et on impose sur la face inférieure une sollicitation thermique composée de 7 cycles montée-descente en température entre 20°C et 35°C de période 24 heures. A l'aide de la modélisation, on se propose d'étudier les configurations présentées Fig. 5 en s'attachant tout particulièrement à l'amplitude des sollicitations thermiques sur la face supérieure et au déphasage δ du signal.

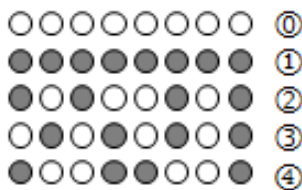


Figure 5 : Représentation des différentes configurations étudiées.

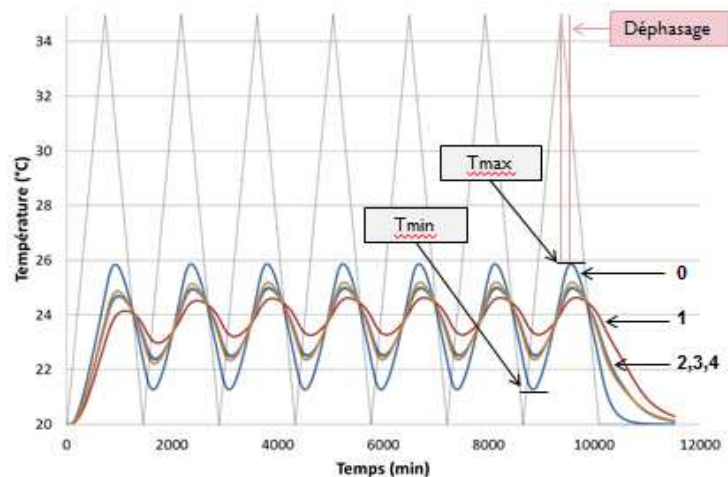


Figure 6 : Température en face supérieure pour les différentes configurations étudiées

Le tableau 3 résume les valeurs de T_{max} , T_{min} et du déphasage δ pour ces différentes configurations. La dalle remplie complètement de MCP présente les meilleures performances : une forte diminution des fluctuations de température $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ et un important déphasage δ de l'ordre de ~5h. On peut envisager de réduire la quantité de MCP à mettre en œuvre dans la dalle. En réduisant de moitié la quantité de MCP c.a.d remplir 4 alvéoles de MCP comme c'est le cas des configurations ②, ③, ④ on peut constater que l'écart $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ est réduit de près de la moitié et le déphasage δ est légèrement augmenté par rapport à celui de la dalle de référence. Ces premiers résultats montrent que le niveau de confort thermique d'un bâtiment peut être amélioré, sans avoir recours à la climatisation par simple incorporation d'un MCP dans la structure de l'enveloppe.

Tableau 3 : Températures de surface T_{max} , T_{min} , ΔT_{max} et le déphasage δ

	T_{max}	T_{min}	$\Delta T = T_{max} - T_{min}$	déphasage δ (min)
○○○○○○○○○○ ①	25,86	21,28	4,58	188
●●●●●●●● ②	24,65	23,28	1,37	283
●○○●○○●○○ ③	24,96	22,56	2,40	220
○○●○○●○○● ④	24,97	22,55	2,42	222
●○○○●●○○● ⑤	25,00	22,49	2,51	208

Conclusion

L'utilisation de sources d'énergie intermittentes : chauffage solaire, refroidissement nocturne, ... pour climatiser l'espace intérieur d'un bâtiment nous incite à optimiser le choix des matériaux de construction. Dans cette communication, nous avons présenté un moyen d'augmenter artificiellement l'inertie thermique d'un bâtiment pour réguler sa température intérieure. Ceci a été réalisé en incorporant un MCP à l'intérieur d'éléments de constructions, en l'occurrence une dalle servant de plancher et/ou plafond. Un des problèmes pratiques posé par l'utilisation de MCP est la possibilité de fuites lorsqu'il est à l'état liquide. Ce problème a été résolu de deux façons, d'une part en réalisant un composite polymère/MCP, d'autre part en incorporant ce composite à l'intérieur des cavités cylindriques existant dans les dalles utilisées pour les planchers/plafonds. Le MCP choisi était une paraffine commerciale de température de fusion voisine de 27°C. Les propriétés thermophysiques du composite ont été mesurées et sa chaleur latente apparente a été trouvée égale à 110 kJ /kg.

Un dispositif expérimental a été réalisé pour effectuer des tests dynamiques. Une variation de température périodique (entre 22 et 35°C) a été imposée sur la face inférieure d'une dalle et la température sur la face supérieure a été mesurée et comparée à celle observée pour une dalle de référence sans MCP. On a montré que les variations de cette température avaient une amplitude plus faible lorsque la dalle contenait un MCP. D'autre part, le déphasage entre la variation imposée et celle mesurée sur l'autre face était environ 1,5 fois plus grand pour les dalles contenant du MCP, montrant clairement l'augmentation de l'inertie thermique.

Une modélisation et une simulation numérique ont été menées à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics. Les résultats numériques sont en accord avec les résultats expérimentaux validant ainsi le modèle. A partir de là, plusieurs configurations de la répartition des alvéoles contenant du MCP ont été étudiées indiquant que les résultats les meilleurs étaient obtenus lorsque toutes les alvéoles étaient remplies de MCP.

Les recherches se poursuivent suivant deux directions. L'une d'elle est expérimentale et des mesures sont effectuées lorsqu'un flux radiatif est imposé sur la face inférieure. L'autre est numérique et l'on étudie l'influence de la répartition du MCP à l'intérieur de l'alvéole elle-même, aussi bien à température imposée qu'à flux imposé, en vue d'une optimisation.

Nomenclature

Symbole		δ	déphasage, <i>min</i>
C_p	capacité thermique massique, $J/kg.K$	ε	émissivité thermique
k	conductivité thermique, $W/m.K$	σ	constante de Stefan-Boltzman, $W/m^2.K^4$
h	coefficient d'échange convectif, $W/m^2.K$		
T	température, K		
		Exposant, Indices	
		min	minimal
Symboles grecs		max	maximal
α	diffusivité thermique, $m^2.s^{-1}$	sup	face supérieure

Références

- [1] A.M., Khudair, M.M., Farid, M.M., A review on energy conservation in building applications with thermal storage by latent heat using phase change materials, *Energy Conversion and Management*, 45, 263 – 275, 2004.
- [2] V.V., Tyagi, D., Buddhi, PCM thermal storage in buildings: A state of the art, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 11, 1146 – 1166, 2007.
- [3] D., Zhou, C.Y., Zhao, Y., Tian, Review on energy storage With Phase Change Materials (PCMs) in building applications, *Applied Energy*, 92, 593-605, 2012.
- [4] M. Koschenz, B. Lehmann, Development of a thermally activated ceiling panel with PCM for application in lightweight and retrofitted buildings, *Energy & Buildings*, 36, 567-578, 2004.
- [5] X. Xu, Y. Zhang, K. Lin, H. Di, R. Yang, Modeling and simulation on thermal performance of shape-stabilized phase change material floor used in passive solar buildings, *Energy & Buildings*, 37, 1084 – 1091, 2005.
- [6] R. Ansuini, R. Larghetti, A. Giretti, M. Lemma, Radiant floors integrated with PCM for indoor temperature control, *Energy & Buildings*, 43, 3019 – 3026, 2011.
- [7] N.A. Yahaya et H. Ahmad, Numerical investigation of indoor air temperature with application of PCM gypsum board as ceiling panels in buildings, *Procedia Engineering*, 20, 238 – 248, 2011.
- [8] J. Mazo, M. Delgado, J.M. Marin, B. Zalba, Modeling a radiant floor system with Phase Change Material (PCM) integrated into a building simulation tool: Analysis of a case study of a floor heating system coupled to a heat pump, *Energy & Buildings*, 47, 458 – 466, 2012.
- [9] L. Royon, L. Karim, A. Bontemps, Thermal energy storage and release of a new component with PCM for integration in floors for thermal management of buildings, *Energy & Buildings*, 63, 29–35, 2013.